

# Acoustic protection on payload fairings of expendable launch vehicles

Publication number: DE19607290

Publication date: 1996-10-24

Inventor: LAEMMLEIN STEPHAN THOMAS DR IN (DE);  
BORCHERS INGO UDO DR ING (DE); BARTELS  
PETER DIPL ING (DE)

Applicant: DORNIER GMBH (DE)

Classification:

- international: **B64G1/00; F41B15/08; G10K11/172; B64G1/00;  
F41B15/00; G10K11/00; (IPC1-7): G10K11/172**

- european: B64G1/00A; F41B15/08; G10K11/172

Application number: DE19961007290 19960227

Priority number(s): CH19950001129 19950420; US19950493050 19950621

Also published as:

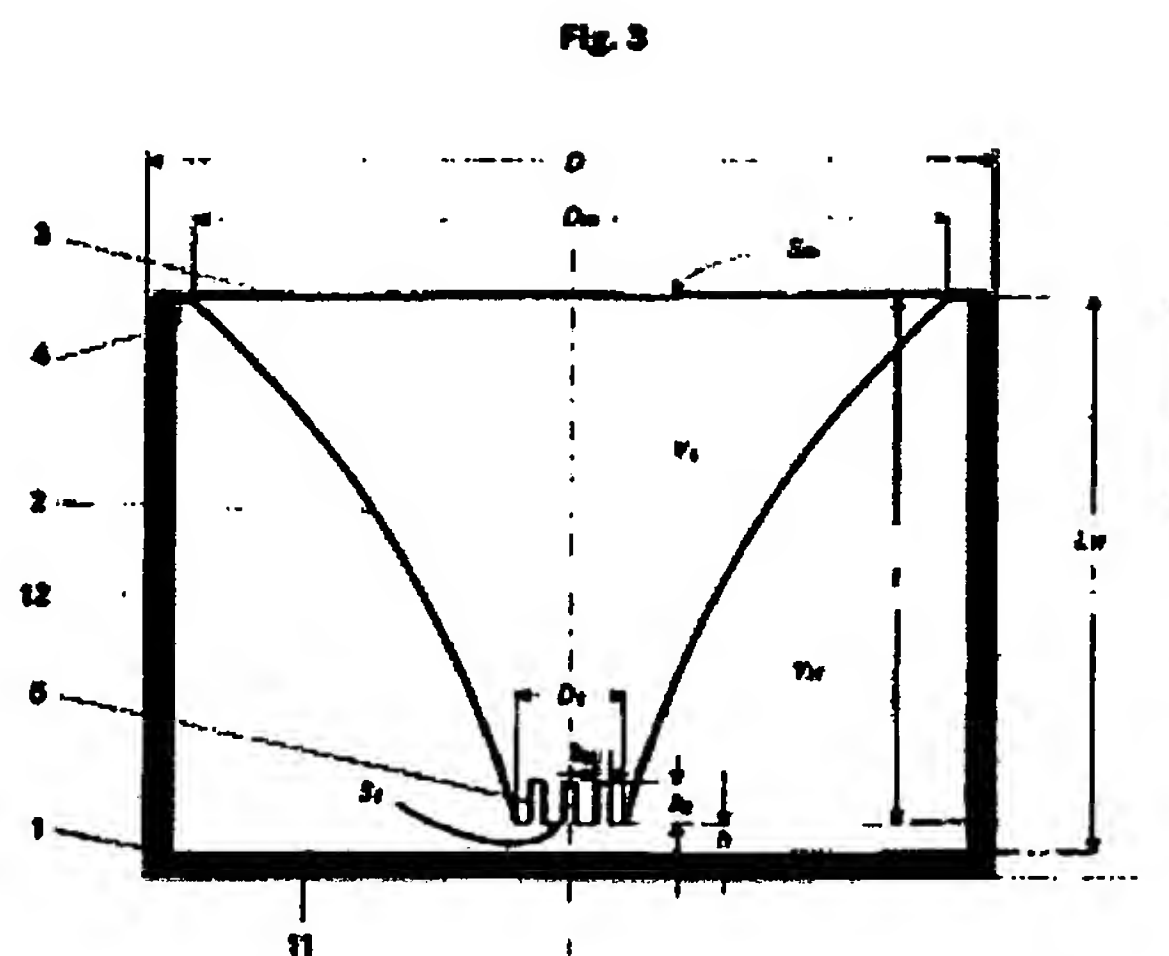
EP0738865 (A1)  
GB2300081 (A)  
FR2733344 (A1)  
EP0738865 (B1)  
NO310065B (B1)

[Report a data error here](#)

Abstract not available for DE19607290

Abstract of corresponding document: **EP0738865**

The absorber has a chamber with a base (11) and side walls (12), and an upper part. The upper part has a horn (2), a permeable cover layer (3) and a diaphragm (4) connecting the horn to the side of the chamber. The horn projects into the bottom part (1) of the chamber and tapers in the direction of the base. Slots (5) in the neck of the horn can be added to improve the absorption effect. Undesired noise incident on the upper part of the absorber is effectively reduced by direction of the flow to the neck, where it undergoes flow separation between the neck of the horn and the base of the chamber.



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide



DEUTSCHES  
PATENTAMT

②① Aktenzeichen: 196 07 290.5  
②② Anmeldetag: 27. 2. 96  
②③ Offenlegungstag: 24. 10. 96

DE 196 07 290 A 1

③⑩ Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
20.04.95 CH 01129/95 21.06.95 US 493050

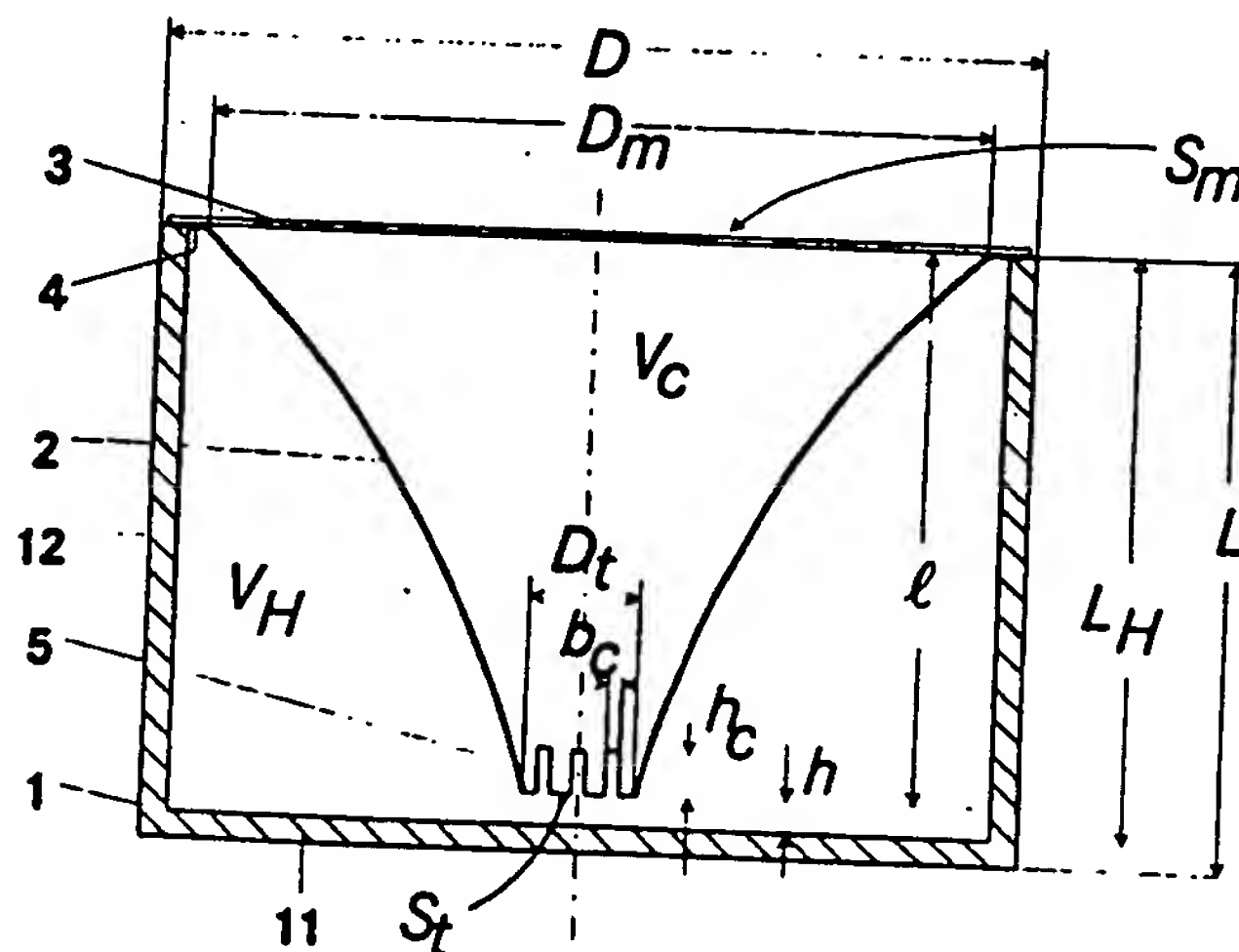
⑦① Anmelder:  
Dornier GmbH, 88048 Friedrichshafen, DE

⑦② Erfinder:  
Lämmlein, Stephan Thomas, Dr.-Ing., 88677  
Markdorf, DE; Borchers, Ingo Udo, Dr.-Ing., 88690  
Uhdlingen, DE; Bartels, Peter, Dipl.-Ing., 88090  
Immenstaad, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Akustischer Absorber

⑤⑦ Die Erfindung betrifft einen akustischen Absorber aus einem topfartigen Unterteil (1) mit Topfboden (11) und Seitenwand (12), sowie einem ein Horn (2) aufweisendes Oberteil, wobei das Horn (2) in das Unterteil (1) hineinragt und sich in Richtung auf den Topfboden (11) verjüngt. Mit dem erfindungsgemäßen Absorber kann unerwünschter Lärm wirksam abgemildert werden. Es wird eine relativ breitbandige und bei gegebener Baugröße eine relativ tieffrequente Absorptionswirkung erzielt, die in der Lage ist, das menschliche Gehör vor Schäden oder lästigen Geräuschen zu schützen bzw. die Lärmbelastung an technischen Geräten und Bauteilen deutlich herabzusetzen.



DE 196 07 290 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen akustischen Absorber zur Absorption von Schallwellen, insbesondere im Bereich tiefer und mittlerer Frequenzen.

5 Akustische Absorber haben die Aufgabe, unerwünschten Lärm abzumindern. Dies erfolgt aus unterschiedlichen Gründen wie z. B. zum Schutze des menschlichen Gehörs vor Schäden oder zur Minderung der Lästigkeit eines Geräusches. Bei technischen Geräten und Bauteilen kann ein akustischer Schutz notwendig werden, um diese vor Beschädigungen zu schützen (Schallermüdung). Schallermüdung kann z. B. auftreten an Flugzeug-Lärmentwicklung beim Start.

10 Physikalisch bedingt weisen herkömmliche Absorber, wie z. B. der  $\lambda/4$ -Absorber oder akustische Dämmstoffe (Matten, Schäume) Bauhöhen auf, die bei einem Viertel der Wellenlänge des abzumindernden Schalls ihr Optimum aufweisen. Die akustische Wellenlänge eines Tones mit  $f = 100$  Hz liegt in Umgebungsluft bei etwa  $\lambda = 3,4$  m. Ein darauf abgestimmter  $\lambda/4$ -Absorber hätte eine Bauhöhe von  $L = 0,85$  m. Solch große Bauhöhen lassen sich wegen sonstiger Randbedingungen (Bauraum, Gewicht) mitunter nicht realisieren. In einem solchen Fall ist man gezwungen, unerwünschte Kompromisse einzugehen oder auf die akustische Dämpfung ganz zu verzichten.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen akustischen Absorber vorzuschlagen, der eine, insbesondere im Falle der Absorption tiefer und mittlerer Frequenzen, deutlich geringere Bauhöhe bzw. Baugröße aufweist als herkömmliche Absorber.

Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausbildungen der Erfindung sind Gegenstände weiterer Ansprüche.

Der erfindungsgemäße Absorber umfaßt ein topfartiges Unterteil mit Topfboden und Seitenwänden sowie ein ein Horn aufweisendes Oberteil, wobei das Horn in das Unterteil hineinragt und sich in Richtung auf den Topfboden verjüngt.

Die gerichtete, oszillierende Fluidbewegung (Strömung) des auftreffenden Schalls wird durch das Horn konzentriert und es tritt zwischen Hornhals und Topfboden Strömungsablösung auf, wodurch Strömungsenergie dissipiert wird.

Eine weitere Umwandlung von Strömungsenergie erfolgt an einer optional vorgesehenen strömungsdurchlässigen permeablen Schicht, die vor dem Hornmund angebracht ist und somit der Fluidbewegung einen definierten Strömungswiderstand entgegensetzt. Dieses Wirkprinzip entspricht dann dem eines klassischen  $\lambda/4$ -Absorbers.

Mit dieser Ausbildung des erfindungsgemäßen Absorbers werden die bekannten physikalischen Absorberprinzipien des Helmholtz-Resonator-Absorbers (Absorption bei "niedrigeren Frequenzen") und des  $\lambda/4$ -Absorbers (Absorption bei "höheren Frequenzen") weiterentwickelt bzw. in einem Bauteil kombiniert.

35 Der erfindungsgemäße Absorber weist eine wesentlich kleinere Baugröße auf als herkömmliche Absorber. Die Schallabsorption ist nicht nur für eine Frequenz allein, sondern breitbandig für einen, oder bei Anwesenheit mehrerer und tiefer Frequenzen.

Durch die Wahl der Geometrieparameter läßt sich der Absorber an den Frequenzbereich anpassen, für den eine Schallminderung stattfinden soll.

40 Die Wirksamkeit des erfindungsgemäßen Absorbers läßt sich mit üblichen Meßgeräten (Kundtsches Rohr oder Impedanzrohr für den senkrechten Schalleinfall) oder durch Nachhallzeitmessungen (diffuser Schalleinfall) nachweisen.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile sind darin zu sehen, daß die mittels Messungen nachgewiesenen Absorptionswerte von keinem anderen in der Größe und dem Gewicht vergleichbaren bekannten passiven akustischen Schutz erreicht werden. Ein Absorber herkömmlicher Bauart würde bei gleicher Wirkung ein größeres Bauvolumen und Bauhöhe beanspruchen. Der erfindungsgemäße Absorber kann sehr einfach gefertigt werden und benötigt wenig Raum. Die durch die Absorption erzielbaren und meßbaren Lärmreduktionswerte sind von einer Größenordnung, die geeignet sind, das menschliche Gehör merklich zu schützen, die Lästigkeit von Geräuschen spürbar zu reduzieren und die Schallbelastung von technischen Geräten und Bauteilen deutlich zu verringern.

50 In der bereits erwähnten besonderen Ausführungsform ist der erfindungsgemäße Absorber im wesentlichen aus drei Teilen zusammengesetzt: Topf, konisches Horn und eine zusätzliche permeable Deckschicht. Dabei sitzt das konische Horn mit seiner Oberseite bündig im Topf und wird an seinem größeren, dem Schall zugewandten Querschnitt, von einer permeablen Schicht bedeckt. Die permeable Deckschicht hat zwei Aufgaben:

1. Sicherstellung der physikalischen Wirkung des  $\lambda/4$ -Absorber-Anteils und
2. Verbesserung des Absorptionscharakters des Helmholtz-Resonator-Absorber-Anteils in Richtung besserer Breitbandigkeit und tieferer Resonanzfrequenz.

60 Das Horn verjüngt sich zum Topfboden hin und weist dort einen definierten Abstand zum Boden und eine definierte Querschnittsfläche (Durchmesser) auf. Im Bereich des kleineren Querschnitts können vorteilhaft kronenförmige Ausnehmungen, im folgenden Schlitz genannt, in die Wandung des Horns eingearbeitet sein.

Mögliche Anwendungen der Erfindung liegen in allen technischen Bereichen, in denen tieffrequente Schallabsorption mit konventionellen Möglichkeiten ausscheidet, z. B. aus Gründen wie verfügbares Volumen, Kosten, Gewicht, Hygiene, dekorative Gestaltung, Beständigkeit. Anwendungen sind insbesondere bei Flugzeugen (Innenlärm), Kraftfahrzeugen (Innen- und Außenlärm), oder Schienenfahrzeugen (Innen- und Außenlärm) möglich.



Im folgenden wird die Erfindung anhand von möglichen Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine fotografische Aufnahme eines geschnittenen erfindungsgemäßen Absorbers mit permeabler Deckschicht,

Fig. 2 eine fotografische Aufnahme eines erfindungsgemäßen Absorbers ohne permeable Deckschicht,

Fig. 3 eine Querschnittszeichnung eines erfindungsgemäßen Absorbers mit den wesentlichen geometrischen Bezeichnungen,

Fig. 4 eine Aufsichtszeichnung des erfindungsgemäßen Absorbers,

Fig. 5 weitere verschiedene Ausführungsformen,

Fig. 6 eine Anwendung des erfindungsgemäßen Absorbers für eine Schallschutzhaube

Fig. 7 eine Skizze zur Herleitung der Resonanzfrequenz des erfindungsgemäßen Absorbers.

Das Ausführungsbeispiel in Fig. 1 ist aus Gewichtsgründen aus dünnwandigen Polystyrol gefertigt (Wandstärke ca. 1 mm). Man erkennt die Elemente Topf 1, Horn 2, Deckschicht 3 und Blende 4. Zwischen Horn und Topfboden ist ein kreuzförmiger Abstandshalter angeordnet.

Die einzelnen Elemente sind durch Verklebung miteinander verbunden. Zur Befestigung des Absorbers an einer Wand ist in diesem Beispiel der Absorber in Schaum eingebettet. Eine andere Befestigungsmöglichkeit wäre z. B. die direkte Verklebung mit der Wand.

Das Horn verjüngt sich konisch von einer Öffnung größeren Durchmessers (dieser Bereich des Horns wird im folgenden auch als Hornmund bezeichnet), durch welche der Schalleintritt erfolgt, zu einer Öffnung kleineren Durchmessers (dieser Bereich des Horns wird im folgenden auch als Hornhals bezeichnet). Die permeable Deckschicht 3 ist über dem Hornmund angeordnet. Die permeable Deckschicht 3 verbessert den breitbandigen Charakter der Absorptionswirkung. Sie ist jedoch in bestimmten Anwendungsfällen nicht zwingend erforderlich.

Fig. 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel ohne permeable Deckschicht. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist der Topf 1 und eine optional vorgesehene Blende 4, die das Horn 2 mit dem Topf verbindet, aus Aluminium (Wandstärke ca. 5 mm) gefertigt. Das Horn 2 selbst ist aus Glasfaserkunststoff in Positivbauweise hergestellt. Man erkennt in der Nähe des Topfbodens am verjüngten Querschnitt des Horns Schlitz 5 am Umfang.

Als geometrische Grundformen des Absorbertopfes sind grundsätzlich zylindrische Formen mit z. B. kreisrunden, ovalen oder mehreckigen Querschnitten anwendbar. Als Hornformen sind insbesondere trichterförmige Schalen mit geradem (dies entspricht einem Kegel) oder hyperbolischem oder kreisförmigem Verlauf der Wandung einsetzbar. Aus fertigungstechnischen Gründen sind rotationssymmetrische Hornformen vorteilhaft, die erfindungsgemäßen Vorteile sind aber auch mit unsymmetrischen Hornformen erreichbar.

In Fig. 3 und 4 sind in Form einer technischen Skizze die wesentlichen Elemente des erfindungsgemäßen Absorbers aufgeführt. Das topfartige Unterteil 1 aus Topfboden 11 und Seitenwänden 12 trägt das Horn 2. Über dem Hornmund  $S_m$  befindet sich die permeable, strömungsdurchlässige Schicht 3.

Der Schalleintritt erfolgt durch den Hornmund  $S_m$ . Die gerichtete, oszillierende Strömung des auftreffenden Schalls wird durch das Horn konzentriert und es tritt zwischen Hornhals und Topfboden Strömungsablösung auf, wodurch Strömungsenergie dissipiert wird.

Die beiden Komponenten Horn 2 und Topf 1 sind steifigkeitsmäßig so auszulegen, daß die ersten strukturellen Eigenfrequenzen deutlich, das heißt mindestens etwa 50% über dem akustischen Absorptionsmaximum liegen. Die Wahl der Werkstoffe und der Wanddicken der Bauelemente sind daher so zu treffen, daß die obige Steifigkeitsbedingung erfüllt ist. Grundsätzlich sind leicht zu bearbeitende Metalle (z. B. Stahl, Aluminium), Kunststoffe (z. B. Polystyrol, Polycarbonat, faserverstärkte Kunststoffe), Holz oder Mineralien als Material geeignet. Der Topf kann durch Rippen oder Sicken versteift werden, um die Steifigkeitsanforderungen zu erfüllen. Ebenso können Rippen, die eine direkte Verbindung zwischen Horn- und Topfwandung sicherstellen, vorhanden sein, um so die gewünschte Steifigkeit zu erreichen.

Aus Herstellungsgründen kann der Topf aus mehreren Unterelementen wie Bodenscheibe und Gehäuse ring zusammengesetzt werden. Zwischen Horn und dem Gehäuse ring kann die Blende 4 angeordnet sein. Die Blende hat dann vornehmlich die Aufgabe, eine feste Verbindung zwischen Topf und Horn herzustellen für den Fall, daß die größere Öffnung  $S_m$  des Horns mit dem Durchmesser  $D_m$  (Schallauffangquerschnitt) deutlich kleiner ist als der Topfquerschnitt mit dem Durchmesser  $D$ . Alternativ kann das Horn auch in einem Teil ganz nach außen zum Topf rand gezogen werden, um eine entsprechende Verbindung herzustellen.

Topfartiges Unterteil und das Oberteil schließen (schall-)dicht aneinander an.

Vorteilhaft weist das Horn in der verjüngten Öffnung  $S_1$  Schlitz (Ausnehmungen) 5 auf, die in dieser Ausführung regelmäßig über den Umfang verteilt sind und senkrecht zum Hornrand verlaufen. Es ergibt sich eine kronenförmig ausgebildeter Hornabschluß. Zahl, Höhe  $h_c$  und Breite  $b_c$  der Schlitz sind abhängig von dem Frequenzbereich, für den der Absorber ausgelegt werden soll. Die Schlitz verbessern die Absorptionswirkung. Hornhalsbereich ist die Tatsache, daß für den Abstand  $h$  des Hornhalses zum Topfboden wesentlich größere Fertigungstoleranzen zulässig sind als ohne Schlitz.

Für die Anordnung der Schlitz sind zahlreiche Varianten möglich. So können die Schlitz z. B. auch ungleichmäßig über den Umfang verteilt werden. Breite, Höhe und/oder Form der Schlitz können an demselben Horn unterschiedlich gewählt werden.

Der Topfteil wird vorzugsweise durch Tiefziehen, Drücken oder Drehen (Metall) oder im Spritzgußverfahren bzw. Tiefziehverfahren (Kunststoff) hergestellt. Das Horn teil wird vorzugsweise ebenfalls durch Tiefziehen, Drücken (Metall) oder im Spritzgußverfahren bzw. Tiefziehverfahren (Kunststoff) hergestellt. Ebenfalls geeignet ist die Herstellung in faserverstärkter Verbundbauweise (AfK Aramidfaser verstärkter Kunststoff, CfK Kohlefaser verstärkter Kunststoff, GfK Glasfaser verstärkter Kunststoff) im Handauflegeverfahren auf Kernen.

Die permeable Deckschicht 3 hat den Hornmund (Fläche  $S_m$ ) ganzflächig zu bedecken. Es werden hierfür

Materialien eingesetzt, welche bestimmte Strömungswiderstände (Resistanz) aufweisen, die in der Größenordnung  $R = \rho c$  liegen ( $\rho$ : Gasdichte,  $c$ : Schallgeschwindigkeit des schallführenden Mediums). Eine Auslegung der Strömungsdurchlässigkeit bzw. Porosität der permeablen Schicht, mit dem Ziel der Absorberoptimierung, kann experimentell erfolgen. Als Materialien für die Deckschicht werden vorzugsweise eingesetzt: Metall ("felt metal"), Kunststoff (poröse dünnwandige GfK-Platten) oder poröse Faserschichten. Zwecks Bauvereinfachung und in besonderen Anwendungsfällen, z. B. bei hohen Lärmpegelwerten von OASPL  $\geq 130$  dB oder um eine schmalbandigere Wirkung zu erreichen, kann auf die permeable Deckschicht ganz verzichtet werden.

In Fig. 5 sind weitere unterschiedliche Ausführungsformen des oben beschriebenen Absorbers skizziert. Allen Ausführungsformen gemeinsam ist das topfartige Unterteil 1 mit Topfboden 11 und Seitenwand 12, das bis nahe zum Topfboden ragende Horn 2 sowie optional das Vorhandensein einer permeablen Deckschicht. Die beiden oberen Ausführungen sowie die links unten dargestellte Ausführung weisen jeweils eine Blende 4 auf, die den Bereich des Hornmunds  $S_m$  mit dem oberen Rand des Topfs 2 verbindet.

In dem rechts unten dargestellten Beispiel geht das Horn 2 über einen Wulst 10 mit bogenförmigem Querschnitt in die Wand des Topfs 1 über.

Statt den Hornhals  $S_t$  bis nahe zum Topfboden zu ziehen, ist es prinzipiell auch möglich, eine Prallplatte anzubringen, wie in dem Ausführungsbeispiel links unten skizziert.

Die dargestellten Ausführungsformen unterscheiden sich außerdem in dem Öffnungswinkel des Horns sowie bezüglich der Schlitzbreite 5 am Hornhals. In der Darstellung rechts unten z. B. ist die Schlitzbreite  $b_c$  (Fig. 3) relativ groß und der obere Rand der Schlitzbreite ist bogenförmig ausgebildet.

In einem Anwendungsbeispiel (Fig. 6) wird der erfindungsgemäße Absorber A zur Geräuschkapselung eines Getriebes eingesetzt. Das Getriebe erzeugt unerwünschten Lärm von etwa OASPL = 100 dB insbesondere im Frequenzbereich um  $f = 200$  Hz. Der nach außen abgestrahlte Lärm soll durch eine möglichst platzsparende und leichte Schallschutzhaube abgemindert werden. Wie in der unteren Hälfte der Fig. 6 gezeigt, werden dazu auf der Innenseite der Lärmschutzhaube Absorber A möglichst lückenlos angeordnet. Der Hornmund ist dem Lärmerzeuger (Getriebe) zugewandt.

Der verwendete Absorber A ist im oberen Teil der Fig. 6 in drei Ansichten dargestellt. In dieser konkreten Ausführung, die für eine schalldämpfende Wirksamkeit im Frequenzbereich um 200 Hz ausgelegt ist, weist der akustische Absorber A eine Gesamthöhe von  $L = 103$  mm auf. Zwecks Bauvereinfachung ist das Horn 2 des Absorbers kegelförmig (gerader, konischer Verlauf der Hornwandung) ausgebildet. Der Hornmunddurchmesser beträgt  $D_m = 93$  mm und der Hornhals weist einen Durchmesser  $D_t = 19$  mm auf. Er ist der Einfachheit halber nicht kronenförmig, jedoch scharfkantig ausgebildet. Die Hornlänge beträgt  $l = 98$  mm. Der Abstand des Hornhalses zum Topfboden ist auf  $h = 4$  mm festgelegt.

Zur Auskleidung der rechteckigen Wände W der Lärmschutzhaube wird der Absorberrumpf 1 mit einem quadratischen Grundriß der Seitenlänge  $X = 100$  mm ausgelegt um möglichst die ganze Fläche lückenlos zu bedecken. Dadurch erhält der Absorberrumpf ein etwa würfelförmiges Aussehen. Die Verbindung zwischen Horn 2 und Topf 1 wird durch eine Blende 4 sichergestellt, wobei Blende und Horn in einem Teil integriert sind. Topf 1 und Horn 2 mit der Blende 4 werden aus Polystyrol mit einer Wandstärke von etwa  $d = 1$  mm im Spritzgießverfahren hergestellt. Beide Teile werden mit einem Polystyrolgeeigneten Kunststoffkleber miteinander verbunden.

Der Hornmund wird von einer strömungsdurchlässigen, permeablen Schicht aus GfK bedeckt. Zur Erzielung einer gewünschten Porosität bzw. Permeabilität von etwa  $R = 1000 \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$  wird das einlagige GfK-Gewebe mit möglichst wenig Harz getränkt und vor dem Aushärten mit einem Absaugvlies mit Hilfe von Unterdruck getrocknet. Die kreisförmige GfK-Schicht mit einer Dicke von etwa 0,3 mm und einem Durchmesser von etwa 98 mm wird mit Kunststoffkleber auf den Hornmund geklebt.

Anhand der Fig. 7 wird im folgenden die Resonanzfrequenz des erfindungsgemäßen Absorbers, und zwar in der Ausführung mit permeabler Schicht auf dem Hornmund, näherungsweise hergeleitet. Sie zeigt links in schematischer Darstellung einen erfindungsgemäßen Absorber sowie rechts das entsprechende mechanische Ersatzschaltbild der oszillierenden Fluidbewegung.

Wie schon oben erwähnt, stellt der erfindungsgemäße Absorber eine Kombination des Prinzips des  $\lambda/4$ -Absorbers (Absorption bei "höheren Frequenzen") und des Helmholtz-Resonator-Absorbers (Absorption bei "niedrigeren Frequenzen") dar. Dabei sind unterschiedliche akustische Elemente wie permeable Schicht, Hornvolumen, Schlitz und Zellvolumen miteinander gekoppelt.

Das Reflektionsvolumen des  $\lambda/4$ -Absorbers ist bei dem erfindungsgemäßen Absorber im Hornvolumen  $V_c$  wiederzufinden. Dabei ist der Abstand der permeablen Schicht zum Boden nur im Bereich von  $S_t$  konstant und ansonsten entsprechend der Hornkontur variabel. Dadurch verschmiert sich die Frequenz bester Absorption auf einen breiteren Frequenzbereich.

Für den  $\lambda/4$ -Absorber Anteil läßt sich aus Lehrbüchern eine Resonanzfrequenz von

$$f_{0, \lambda/4} = \frac{c}{4h}$$

angeben, bei der die maximale Absorption eintritt. Hierbei bedeuten die Größen  $c$  die Schallgeschwindigkeit des schallführenden Mediums und  $h$  Abstand der permeablen Schicht vom festen Boden. Für diesen Fall tritt an der permeablen Schicht ein Maximum der Schallschnelle auf, wobei akustische Strömungsenergie durch Verwirbelung an der permeablen Schicht verzehrt wird und somit eine Schallabsorption stattfindet. Im Falle des erfindungsgemäßen Absorbers entspricht der Höhe  $h$  zum einen der Abstand  $L$  in Fig. 7 und zum anderen der mit der Hornkontur einhergehende variable Abstand  $(L-x)$ .

Im Falle des Helmholtz-Resonator-Absorber-Anteils des erfindungsgemäßen Absorbers findet man den in



den Lehrbüchern beschriebenen Schlitzbereich am Ort des Hornhalses wieder. Das Hornvolumen selbst vergrößert den Anteil der trägen effektiv schwingenden Fluidmasse, wodurch die Resonanzfrequenz zu tieferen Werten verschoben wird.

Dieser Effekt wird durch die Anwesenheit der permeablen Schicht zusätzlich unterstützt. Weiterhin wird durch die Formgebung des Hornes die Geschwindigkeit des pulsierenden Fluids am Hornhals vergrößert. Dort tritt am Schlitz und an der Krone Strömungsablösung auf, wodurch Strömungsenergie in Wärme dissipiert wird. Damit einher geht ein Verlust an akustischer Energie und somit tritt eine Absorptionswirkung ein.

Die Resonanzfrequenz des Helmholtz-Resonator-Absorbers läßt sich von der aus den Lehrbüchern bekannten Formel eines Feder-Masse-Schwingers

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{m}}$$

Gl. 1

herleiten. Hierin bedeutet  $S$  die Federsteifigkeit und in die Größe der schwingenden Masse. Im Falle des Helmholtz-Resonators entspricht der Steifigkeit  $S$  eine "Steifigkeit des Resonatorvolumens" der Größe

$$S = \frac{\rho c^2 S_s^2}{V_H}$$

Gl. 2

Die effektiv oszillierende Masse  $m = m^*$  ist gegeben durch

$$m^* = \rho S_s l^*, \quad \text{Gl. 3}$$

wobei mit  $l^*$  die effektive Höhe der schwingenden Luftsäule gekennzeichnet ist.

Setzt man Gl. 2 und Gl. 3 in Gl. 1 ein, so erhält man die klassische Formel für die Resonanzfrequenz des Helmholtz-Absorbers:

$$f_{0H} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_s}{V_H l^*}}$$

Gl. 4

In der Anwendung auf die Geometrie des erfindungsgemäßen Absorbers kommt der Berechnung von  $l^*$  bzw.  $m^*$  eine besondere Bedeutung zu (Fig. 7).

Die schwingende Luftsäule setzt sich aus den drei Anteilen Hornmund, Hornkonus und Hornhals zusammen. Setzt man diese in Bezug auf die Querschnittsfläche  $S_i$  so kann man zunächst ansetzen:

$$l^* = l_m^* + l_c^* + l_t^* \quad \text{Gl. 5f}$$

$$m^* = S_i l^* \quad \text{Gl. 6}$$

Hierin sind  $l_t^*$  und  $l_m^*$  empirisch zu ermitteln. Für den Anteil  $l_c^*$  der stellvertretend für das Horn steht, kann man die folgende Kontinuitätsbeziehung aufstellen mit der Annahme, daß alle Fluidpartikel im Horn phasengleich schwingen ("schwingende Säule"):

$$u_t \cdot S_t = u_x \cdot S_x = u_m \cdot S_m \quad \text{Gl. 7}$$

Die kinetische Energie eines schwingenden Kontinuums ist gegeben durch

$$E_{kin} = \frac{\rho}{2} \int_{L-l}^L S_x u_x^2 dx = \frac{\rho}{2} l_c^* S_i u_i^2$$

Gl. 8

Mit der vereinfachenden Annahme eines kegelförmigen Hornverlaufs (geradlinige Hornkontur)

$$S_x = S_i \left( \frac{x}{(L-l)} \right)^2$$

Gl. 9

und

$$u_x^2 = u_{x-}^2 \left( \frac{S_i}{S_x} \right)^2,$$

Gl. 10

erhält man aus Gl. 8:

$$l_c^* = \frac{L-l}{L} l = \frac{D_i}{D_m} l$$

Gl. 11

Somit ergibt sich näherungsweise für die Resonanzfrequenz des Helmholtz-Resonator-Anteils des erfindungs-  
gemäßen Absorbers aus Gl. 4:

$$f_0 \approx \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_i}{V_H \left( l_m^* + \frac{D_i}{D_m} l + l_c^* \right)}}$$

Gl. 12

Gl. 12 stellt eine erste Abschätzung der Resonanzfrequenz dar und ist somit ein wichtiger Anhaltspunkt für  
eine erste Größenauslegung des Absorbers. Hierbei können die Werte für  $l_m^*$  und  $l_c^*$  aus geometrisch  
ähnlichen Absorbern durch Skalierung ermittelt werden. Die empirisch ermittelten Resonanzfrequenzen an den  
Ausführungsbeispielen können 10 bis 25% davon abweichen. Mit der Angabe der Resonanzfrequenz ist noch  
keine Aussage über den bei dieser Frequenz zu erwartenden Absorptionsgrad getroffen. Eine solche Aussage  
kann nur experimentell ermittelt werden. Dabei spielt auch der Einfluß der Größe und Formen der Schlitze, der  
Einfluß der Durchlässigkeit der permeablen Schicht und auch die Größe des auftreffenden Lärmpegels eine  
große Rolle.

#### 35 Bezugszeichenliste

- 1 Topf
- 2 Horn
- 3 permeable Schicht
- 40 4 Blende
- 5 Schlitze
- 10 bogenförmiger Wulst
- 11 Topfboden
- 12 Topfwand
- 45 A Absorber
- b<sub>c</sub> Schlitzbreite
- D Gesamtdurchmesser des Absorbers
- c Schallgeschwindigkeit
- D<sub>m</sub> Durchmesser am Schalleintritt (Hornmund)
- 50 D<sub>i</sub> Durchmesser Hornhals
- f Frequenz
- h Abstand zwischen Horn und Topfboden
- h<sub>c</sub> Schlitzhöhe
- l Höhe Horn
- 55 L Gesamthöhe des Absorbers
- L<sub>H</sub> Höhe des Helmholtz-Resonator-Volumens
- S<sub>m</sub> Querschnittsfläche Hornmund
- S<sub>i</sub> Querschnittsfläche Hornhals
- V<sub>c</sub> Hornvolumen (Konusvolumen)
- 60 V<sub>H</sub> Helmholtz-Resonator-Volumen (Zellvolumen)
- W Wand der Schallschutzhaube
- x lokaler Abstand vom Topfboden

#### Patentansprüche

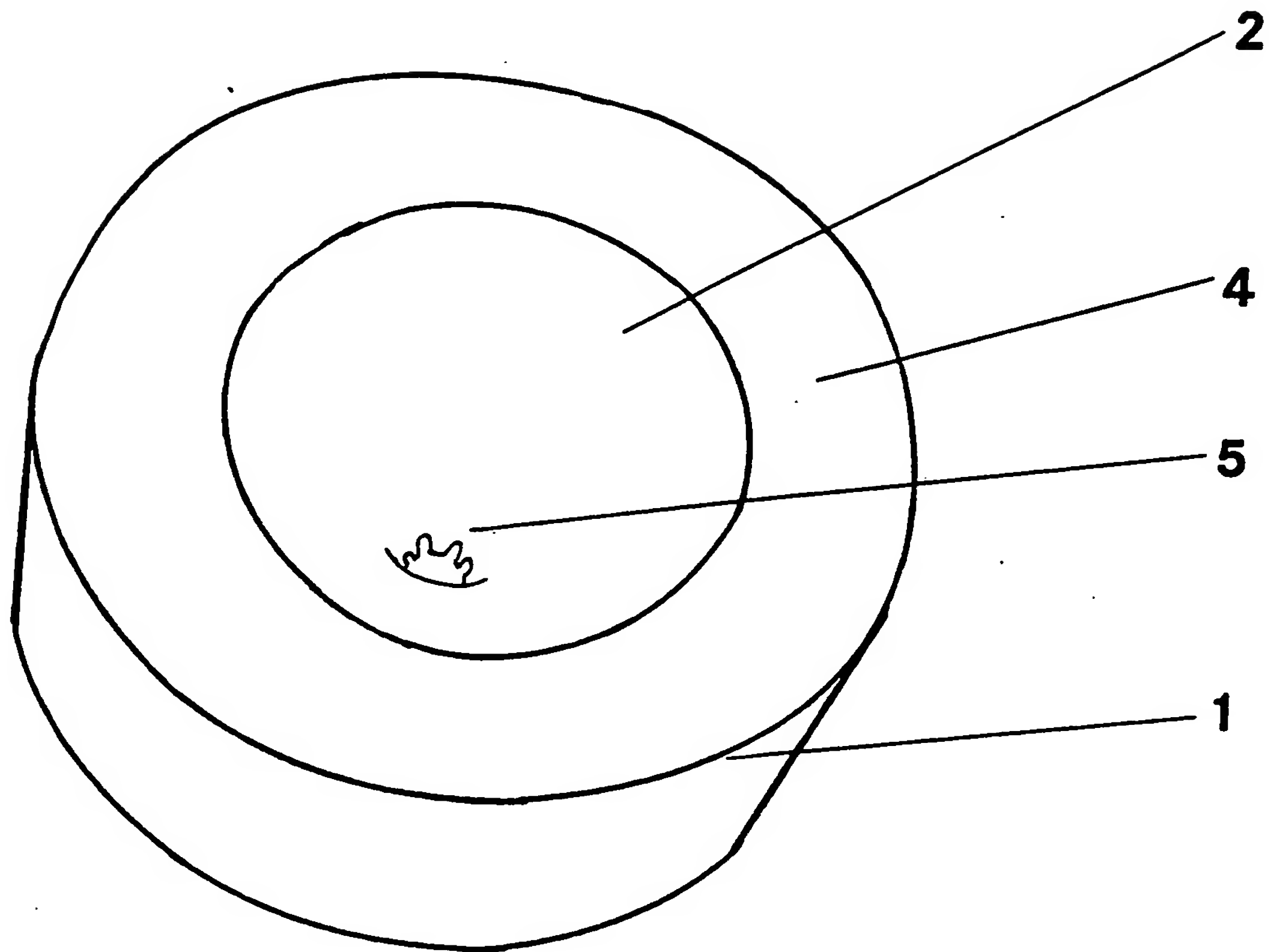
1. Akustischer Absorber (A), umfassend
  - ein topfartiges Unterteil (1) mit Topfboden (11) und Seitenwand (12),
  - ein ein Horn (2) aufweisendes Oberteil, wobei das Horn (2) in das Unterteil (1) hineinragt und sich in

- Richtung auf den Topfboden (11) verjüngt.
2. Akustischer Absorber nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich das Horn (2) von einer Öffnung ( $S_m$ ) größeren Durchmessers auf eine Öffnung ( $S_t$ ) kleineren Durchmessers verjüngt.
  3. Akustischer Absorber nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Horn (2) mit der kleineren Öffnung ( $S_t$ ) in das Unterteil (1) hineinragt.
  4. Akustischer Absorber nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Horn (2) eine rotationssymmetrische-Form aufweist.
  5. Akustischer Absorber nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verjüngung des Horns (2) durch einen geradlinigen oder hyperbolischen oder kreisförmigen Verlauf der Hornwandung erreicht wird.
  6. Akustischer Absorber nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich der Öffnung ( $S_t$ ) mit kleinerem Durchmesser in der Hornwandung Schlitze (5) angeordnet sind.
  7. Akustischer Absorber nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schlitze (5) einen bogenförmig oberen Rand aufweisen.
  8. Akustischer Absorber nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß — in Richtung des zu absorbierenden Schalls gesehen — hinter der Hornöffnung ( $S_t$ ) kleineren Durchmessers eine Prallplatte angeordnet ist.
  9. Akustischer Absorber nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Seitenwand (12) des topfartigen Unterteils (1) senkrecht auf dem Topfboden (11) steht.
  10. Akustischer Absorber nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das topfartige Unterteil (1) einen kreisrunden, ovalen oder mehreckigen Querschnitt aufweist.
  11. Akustischer Absorber nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Hornöffnung ( $S_m$ ) größeren Durchmessers eine permeable, strömungsdurchlässige Schicht (3) angeordnet ist.
  12. Akustischer Absorber nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die permeable, strömungsdurchlässige Schicht (3) aus Metall oder Kunststoff oder porösen Faserschichten besteht.
  13. Akustischer Absorber nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Ober- und Unterteil (1) dicht aneinander anschließen.
  14. Akustischer Absorber nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Oberteil eine Blende (4) umfaßt, welche bündig mit dem Horn (2) verbunden ist.
  15. Akustischer Absorber nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Oberteil im Bereich der Hornöffnung ( $S_m$ ) größeren Durchmessers über einen Wulst (10) in das Unterteil (1) übergeht.
  16. Akustischer Absorber nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Versteifung an dem Unterteil (1) Rippen oder Sicken angeordnet sind.
  17. Akustischer Absorber nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Seitenwand (12) des topfartigen Unterteils (1) und der Hornwandung (2) Rippen zur Versteifung angeordnet sind.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen



Fig.2



**Fig. 3**

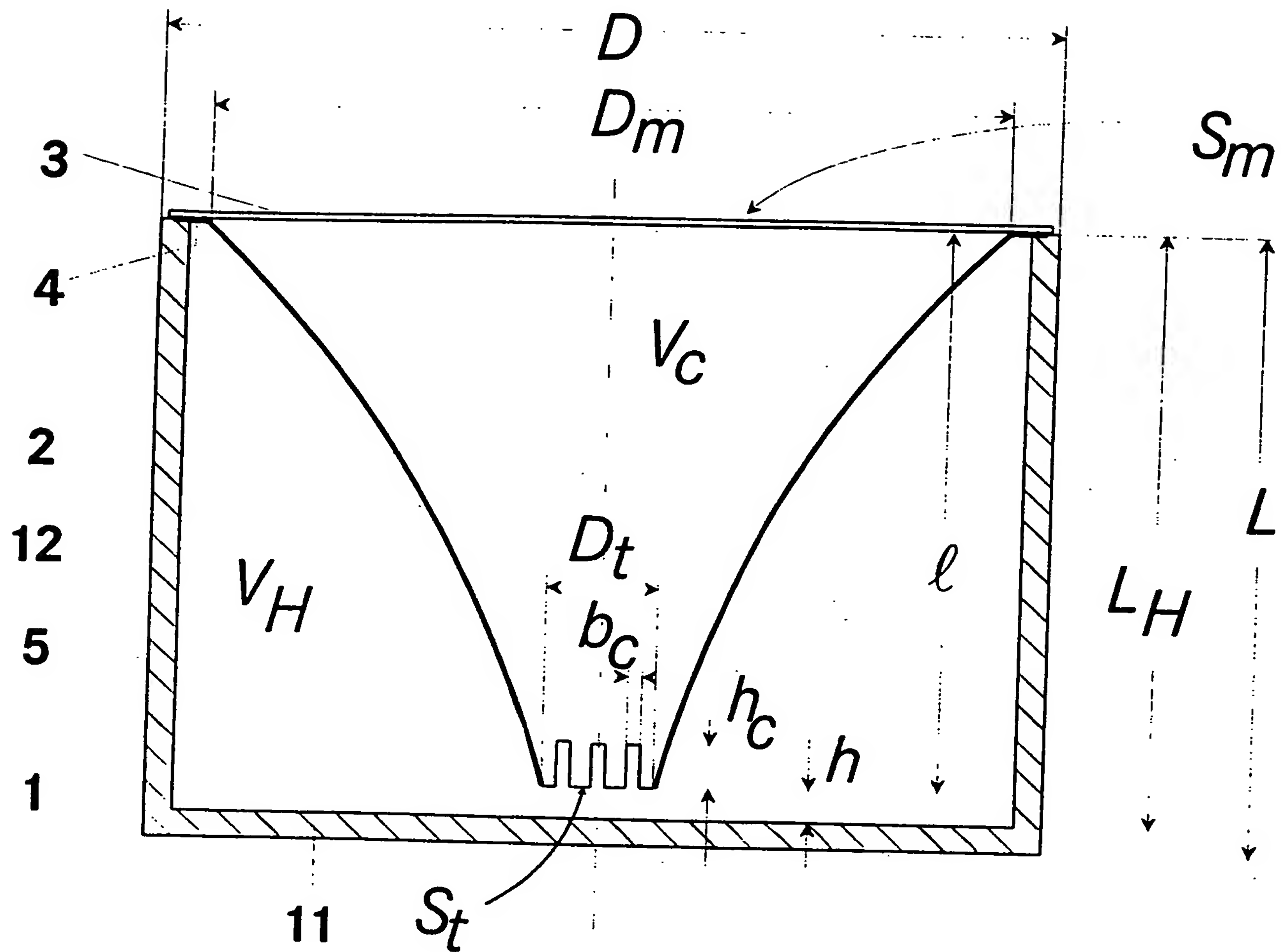


Fig. 4

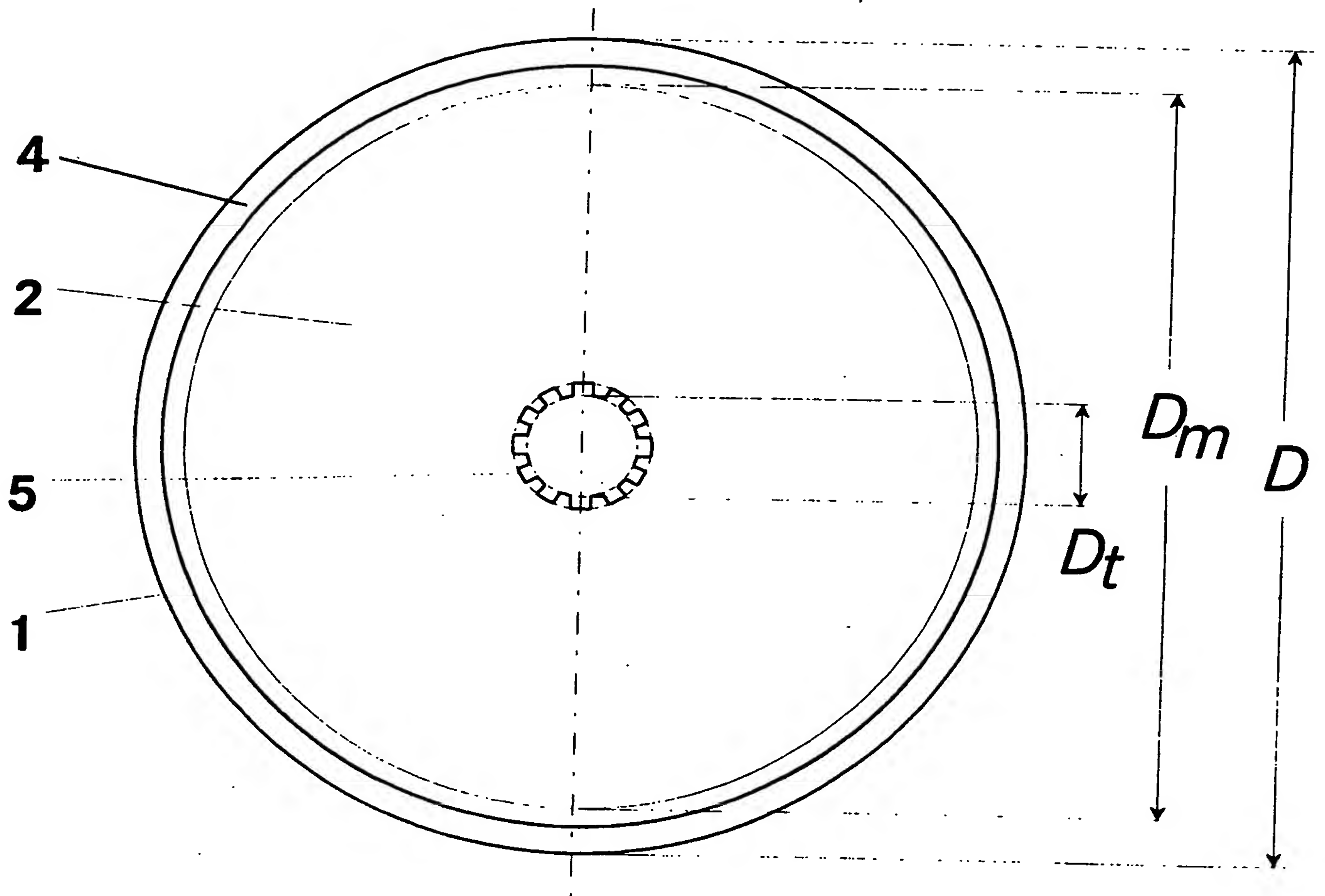




Fig. 5

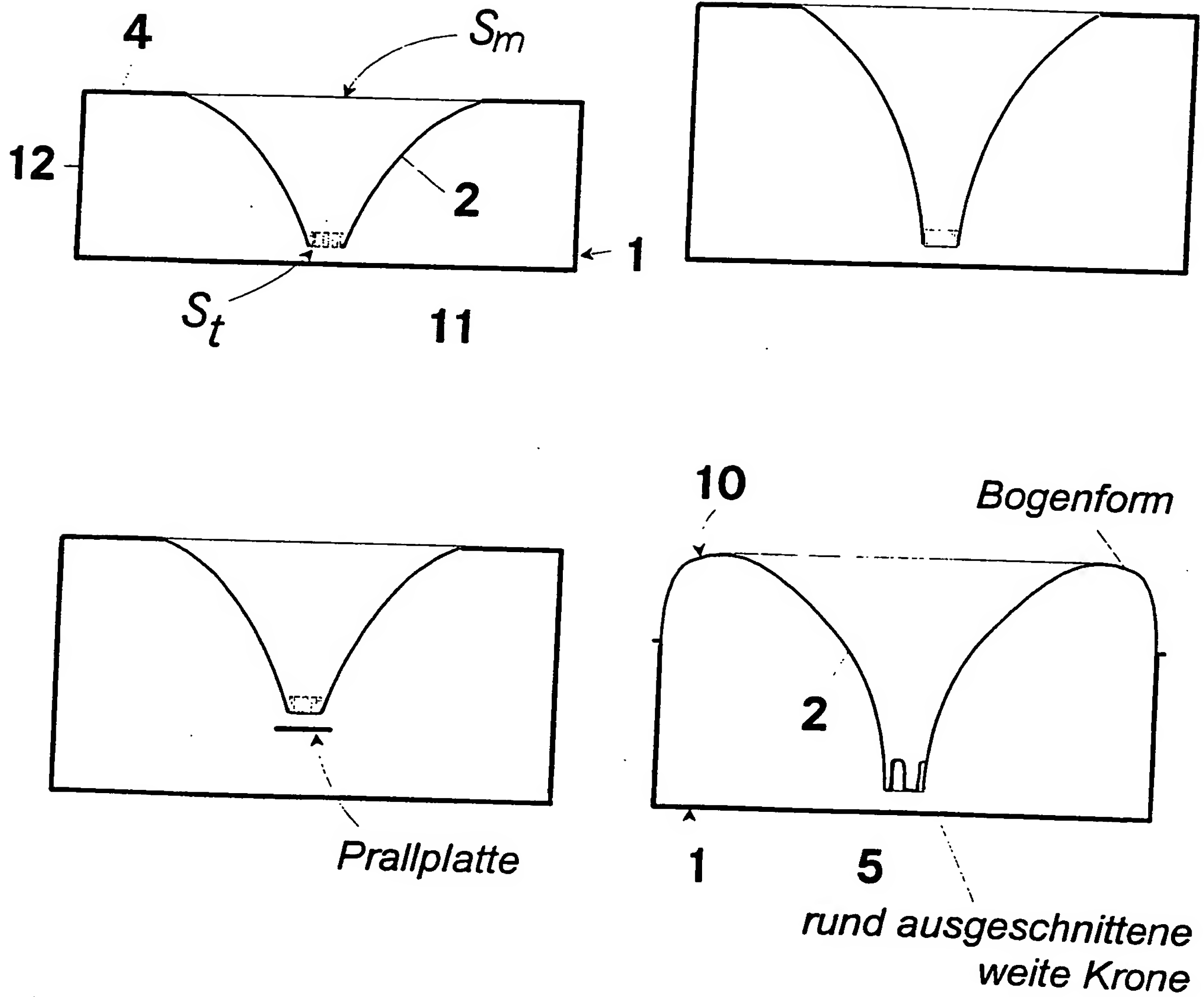


Fig.6

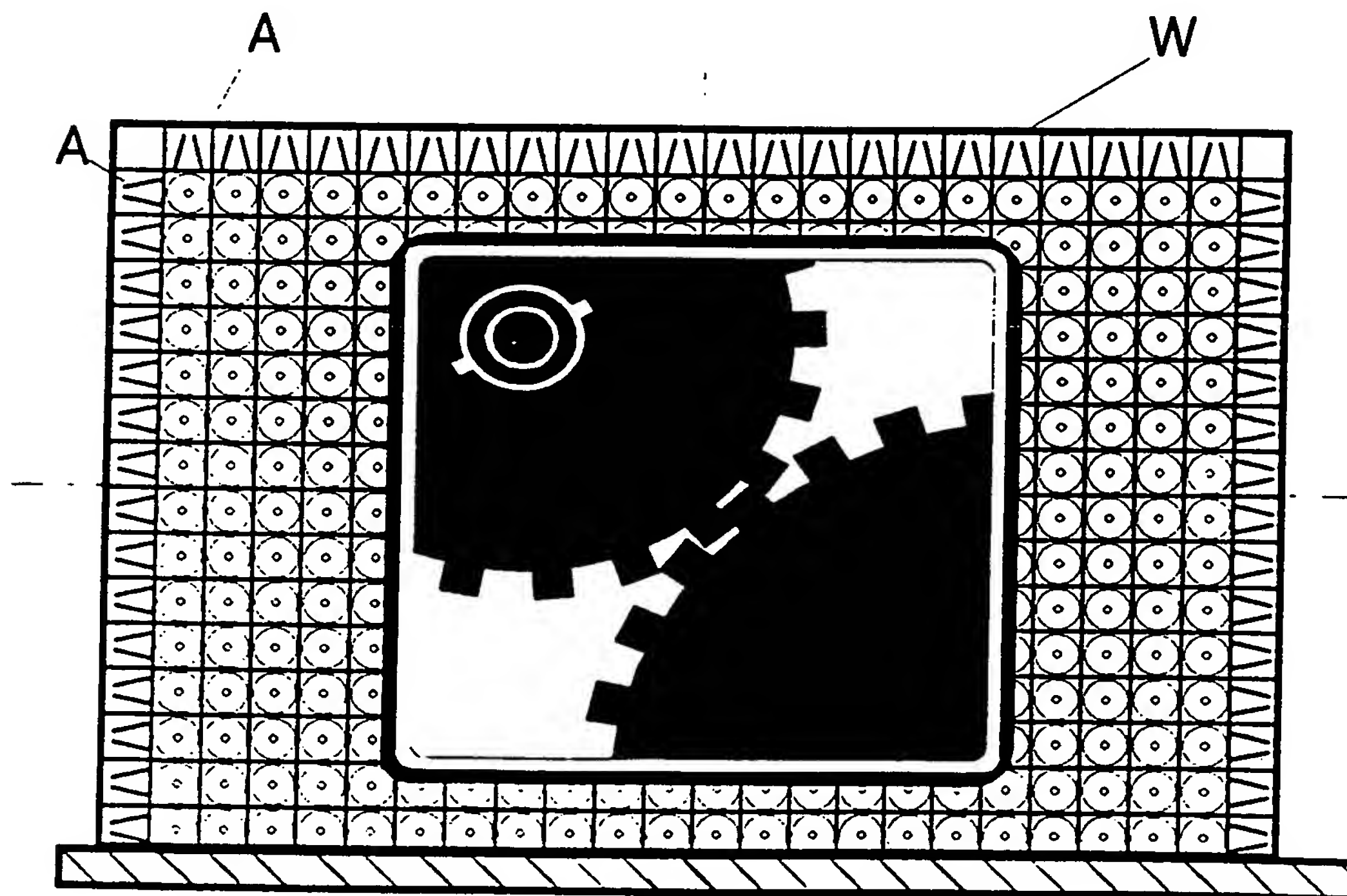
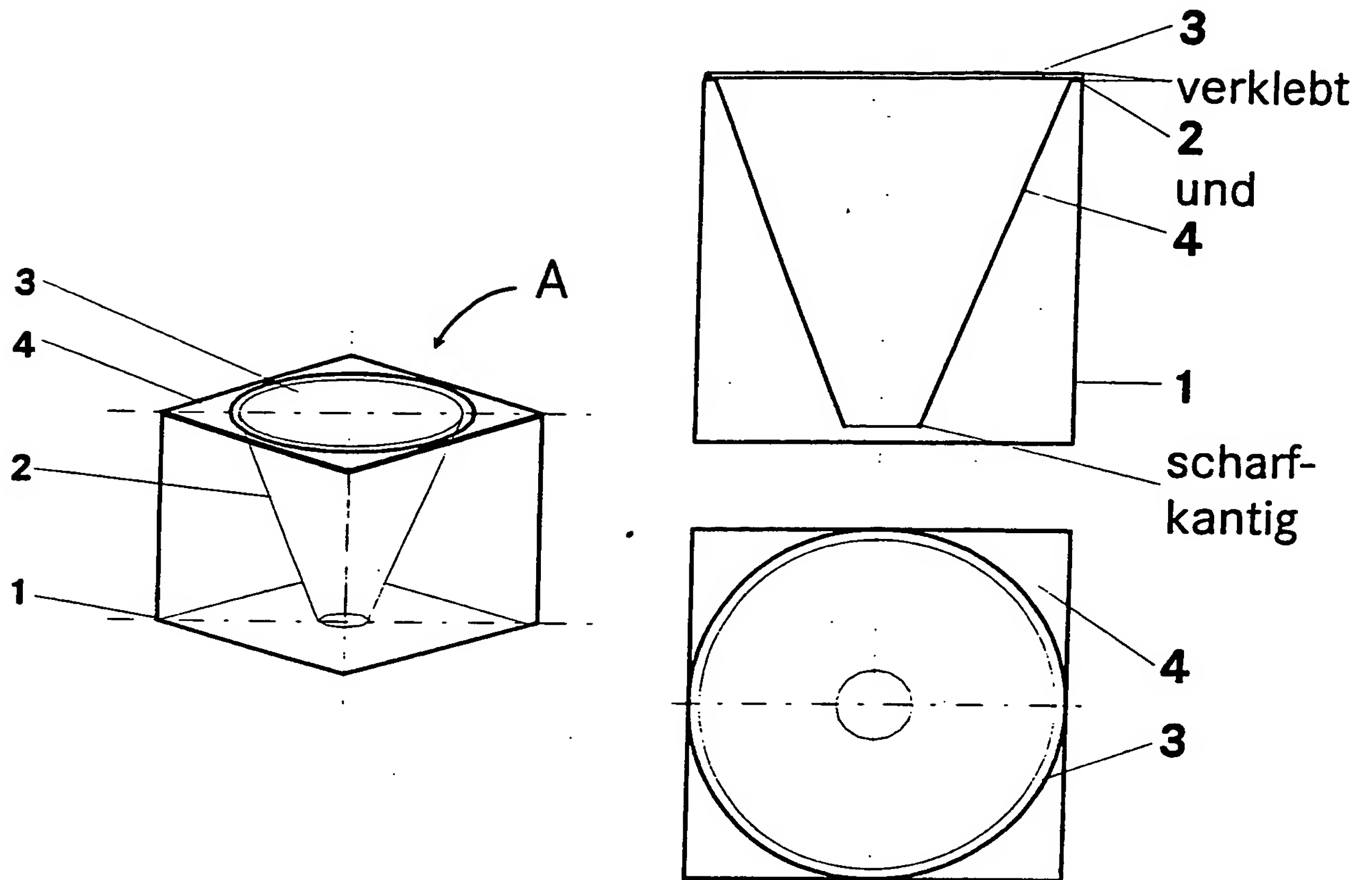


Fig. 7

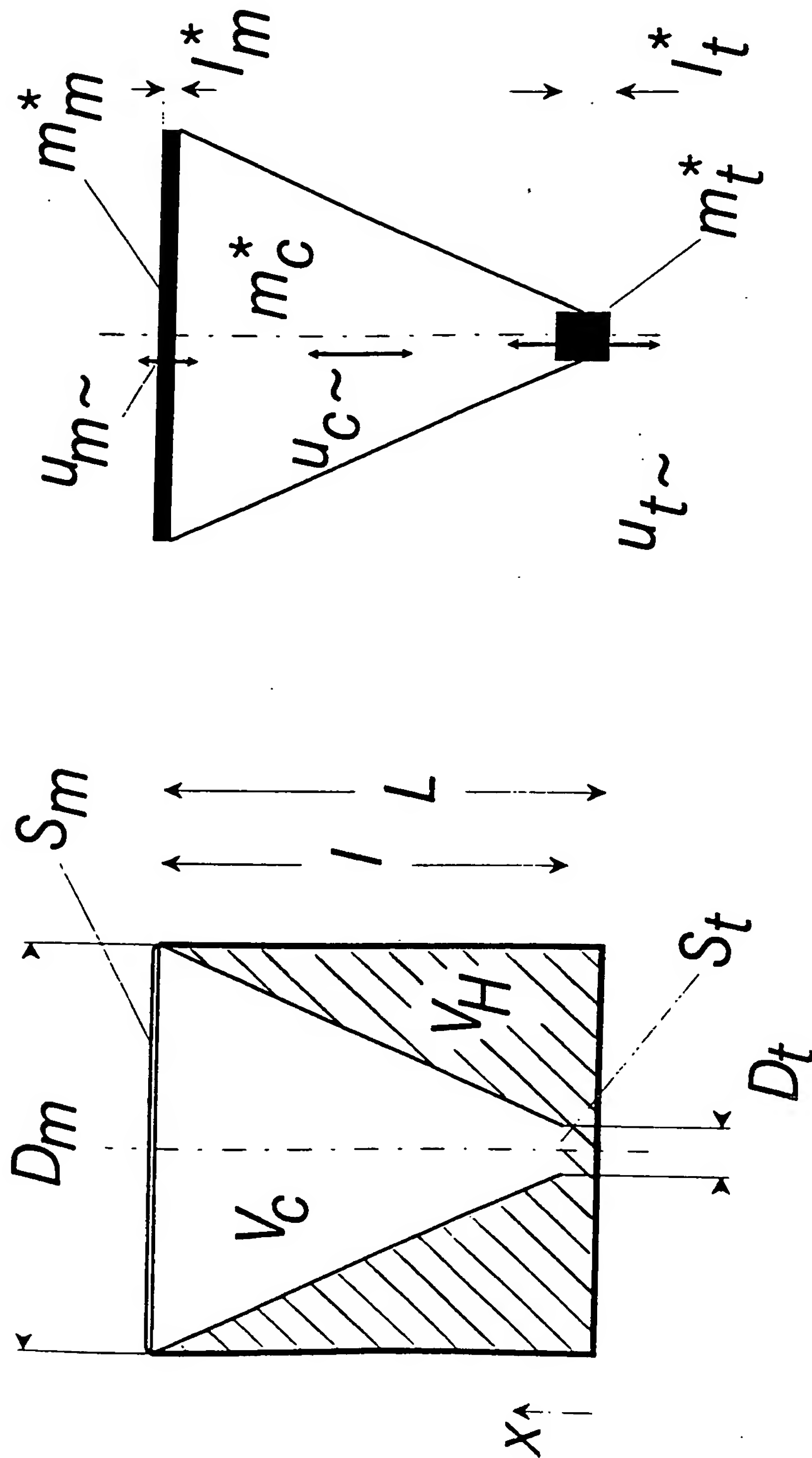




Fig. 1

